

마이크로 자기디스크의 국소 스핀이완시간 관찰

이경동^{1*}, 김지완¹, 정재우¹, 김동현², 최석봉³, 신성철¹

¹KAIST, 물리학과, 스핀정보물질연구단

²충북대학교, 물리학과, 기초과학연구소

³서울대학교, 물리학과, 극초고속 나노스핀현상 연구실

1. 서론

마이크로 크기의 자기구조체에서 일어나는 고속 스핀동역학에 대한 이해는 스핀토크를 이용한 자기저항 임의 접근메모리나 초고밀도 자기기록매체의 스위칭 속도를 개선하는데 기반 지식이 되므로 최근 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, 세차현상을 이용한 세차스위칭은 피코초 시간영역에서 자화반전을 가능하게 하는 중요한 방법으로 연구되고 있다. 세차스위칭은 Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식에 의해 잘 기술되어지고 있는 자기 세차현상의 고주파 특성을 활용하는 방법이다. 자기구조체에서 균일한 스핀세차운동은 스핀스위칭 소자의 무결성에 바람직하다. 하지만 대부분 타원형이 아닌 구조를 갖는 자기구조체 내부에는 강한 불균일 내부자기장이 스핀운동에 영향을 주게 된다. 그리고 자기구조체의 크기와 모양에 따라 다양한 스핀파동을 생성하게 된다.

본 연구에서는 마이크로 크기의 자기구조체에서 자기장펄스에 의해 발생한 스핀세차운동의 이완시간을 국소적으로 관찰하였다. 이로부터 국소 스핀이완시간은 공간적으로 불균일함을 알았다.

2. 실험방법

실험적으로 시간분해 스캐닝 커르 현미경(time-resolved scanning Kerr microscope; TR-SKM)은 자기장 펄스에 의해 여기되는 다양한 스핀파동들을 포함하는 세차운동을 시간영역에서 관찰함으로써 스핀파동들의 상호작용과 진화과정에 의한 이완시간을 살펴보기에 적합하다.

샘플을 여기하기 위해서 공평면 도파로 위에 원형 퍼멀로이 디스크를 패터닝 하였다.[1] 샘플의 지름은 2.8 μm 이며 샘플 평면을 따라 약 410 Oe 의 바이어스 자기장을 주었다. 자기장 펄스의 방향(-y 축)은 샘플 평면을 따라 바이어스 자기장의 방향(x 축)에 수직이며 자기장 펄스의 상승시간은 24 ps, 하강시간은 440 ps 로 추정된다. 이완시간 측정을 위해 TR-SKM 을 사용하였다. 중심파장이 410 nm 인 프로브 펄스를 대물렌즈(N.A. 0.95)를 사용하여 샘플에 조사한 후 반사된 빔의 Kerr 회전각을 350 nm 공간분해능으로 10 ps 간격으로 측정하였다. 샘플 중심을 원점으로 볼 때 중심 x축(y=0)과 중심 y축(x=0)에 대해서 150 nm 간격으로 샘플의 국소 세차운동을 관찰한 후 그 감쇄현상을 지수함수로 fitting 하여 구하였다.

3. 실험결과

그림 1은 샘플의 중심 x축 또는 중심 y축에서의 국소 스핀이완시간을 나타내었다. 에지부근과 중심부근에서의 감쇄세차운동이 관찰되었으며 중심 x축에 대해서는 명확하게 서로 다른 국소이완시간을 보였다. 중심영역은 에지부근에 비해 긴 이완시간을 보였다. 이완시간은 세차운동진폭의 피크 지점을 지수함수로 fitting 하여 구하였다. 그림에서의 바(bar)는 비선형 least square fitting 의 95% 신뢰도를 나타낸다. 이완시간의 불균일성을 설명하기 위해 object-oriented micromagnetic framework (OOMMF)[2] 를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 실험결과와의 비교를 위해 시뮬레이션 결과는 2σ 를 350 nm 로 해서 가우시안 평균을 하여 구하였다. 균일한 감쇄상수를 사용한 시뮬레이션에 있어서도 국소이완시간 분포는 실험결과와 비슷함을 확인할 수 있었다.

4. 고찰

실험 결과와 비슷한 시뮬레이션 결과를 통해서 실험에서 보인 불균일한 이완시간분포의 주요한 원인을 추측할 수 있다. 시뮬레이션에서 균일한 감쇄상수를 사용하였기 때문에 샘플의 중심 x축 상에서 보이는 에지부근과 중심부근의 명확한 이완시간의 차이는 에지부근에서의 미소자기 에너지가 중심부근으로 전파되었기 때문으로 해석할 수 있다. 그리고 중심 x축 상에서는 자기장 방향에 나란한 magnetostatic backward volume wave mode (MSBVW)가 진행하므로 이러한 에너지 전달과정은 MSBVW와 관련되어 있음을 알 수 있다.

5. 결론

제한된 마이크로 자기구조체에서 불균일한 국소 스핀이완시간을 관찰했다. 균일한 감쇄상수를 갖는 미소자기 시뮬레이션은 실험결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 이 결과는 바이어스 자기장 방향의 샘플 에지부근과 중심에서의 이완시간의 차이가 미소자기 에너지의 전달에 의해 발생했음을 시사한다.

6. 참고문헌

- [1] K.-D. Lee *et al.*, J. Korean Phys. Soc. 49, 2402 (2006).
- [2] M. J. Donahue and D. G. Porter, OOMMF v1.2a3, National Institute of Standards and Technology, 2002.

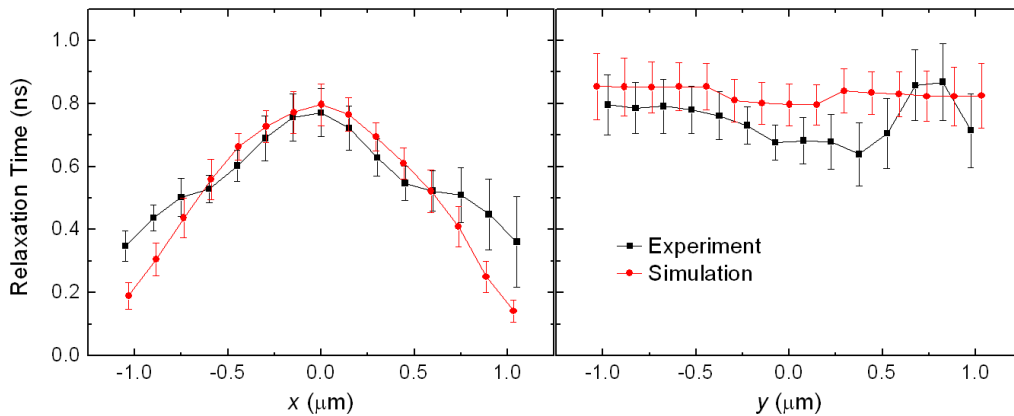


그림 1. 중심 x축 또는 중심 y축에서의 국소 스핀이완시간. 바(bar)는 비선형 least square fitting 의 95% 신뢰도를 나타낸다. 실험결과와의 비교를 위해 시뮬레이션 결과는 2σ 를 350 nm 로 해서 가우시안 평균을 하여 구하였다.